

TADEUSZ ŚMIAŁOWSKI**STANISŁAW WĘGRZYN**

Zakład Roślin Zbożowych

Instytut Hodowli i Aklimatyzacji Roślin, Oddział w Krakowie

Zastosowanie analizy współczynników ścieżek do oceny współzależności elementów struktury plonu owsa jarego (*Avena sativa* L.)

The path-coefficient analysis of yield structure parameters in spring oat

Celem pracy była ocena bezpośredniego i pośredniego wpływu 6 cech: terminu wyrzucania wiech, wysokości roślin, odporności na rdzę koronową, odporności na wyleganie, masy 1000 ziaren i zawartości łuski na plon rodów owsa badanych w doświadczeniach odmianowych (wstępnych-zespołowych) w 1999 i 2000 roku. Ocenie poddano łącznie 50 obiektów (po 25 w każdym roku) w 4 miejscowościach. Analiza statystyczno-genetyczna obejmowała obliczenie współczynników zmienności, korelacji fenotypowo-genotypowych oraz analizę ścieżkową pomiędzy 6 cechami a plonem owsa. Stwierdzono, że wysoce istotna ujemna korelacja genetyczna pomiędzy plonem a wczesnością kłoszenia i dodatnia pomiędzy plonem a odpornością na porażenie rdzą koronową są uwarunkowane również silnymi efektami bezpośrednimi.

Słowa kluczowe: analiza przyczynowo-skutkowa, cechy struktury plonu, korelacje genetyczne, owies

The aim of the study was to estimate direct and indirect effects of six traits: date of heading, plant height, resistance to lodging and to crown rust, 1000 grain weight and content of hull on grain yield per plot in strains and cultivars of spring oat (*Avena sativa*) investigated in field trials in 1999 and 2000. The study was carried out on 50 forms (25 each year) in 4 localities. The statistical analysis comprised calculation of coefficient of variability, phenotypic and genotypic correlations and path-coefficient analysis of six traits and grain yield per plot. The genotypic correlation between grain yield and crown rust resistance was positive and highly significant in the both years of study ($rG_{(1999)} = 0.93^{**}$ and $rG_{(2000)} = 0.64^{**}$). Path-coefficient analysis showed very strong direct effect of crown rust on grain yield ($P_{37(1999)} = 1.439^{**}$ and $P_{37(2000)} = 0.607^{**}$). A negative genotypic correlation existed between date of heading and grain yield ($rG_{(1999)} = -0.73^{**}$ and $rG_{(2000)} = -0.48^{**}$), and also direct effects on yield were negative in the both years of study ($P_{(1999)} = -0.667^{**}$, and $P_{(2000)} = -0.819^{**}$).

Key words: genotypic correlation, path-analysis, spring oat, yield structure

WSTĘP

Wysoka plenność odmian owsa jest cechą złożoną, zależną od wielu czynników w tym cech struktury plonu, a także odporności na choroby i wyleganie. Cechy te są ze sobą silnie związane zarówno w sposób bezpośredni jak i również pośredni. Obserwacja i analiza wzajemnych powiązań pomiędzy tymi zależnościami pozwala dokonać właściwego wyboru plenniejszych form owsa unikając równocześnie pogorszenia innych cech.

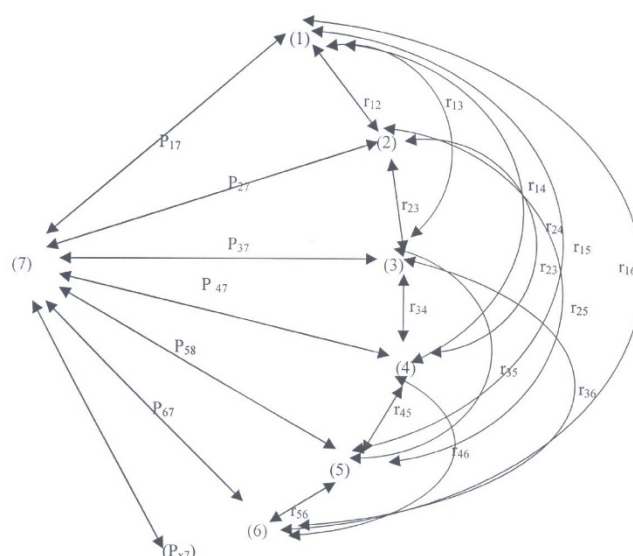
W dostępnej literaturze niewiele się spotyka opracowań dla owsa pod kątem oceny wzajemnych powiązań pomiędzy cechami. Korelacje fenotypowe pomiędzy 5 cechami struktury plonu u 28 odmian owsa opisał Sawicki (1984). Stwierdził wysokie istotne wartości współczynników korelacji pomiędzy plonem ziarna z poletka a plonem ziarna z wiechy i masą 1000 ziaren. W oparciu o obliczone współczynniki korelacje fenotypowej tzw. prostej oraz cząstkowej wielokrotnej Sawicki wyjaśniał wzajemne powiązania pomiędzy cechami struktury plonu, czyli współzależności. Wykorzystanie w selekcji linii owsa na wysoki plon ziarna bezpośrednie i pośrednie zależności plonu od innych cech proponuje Johnson (1983). Selekcję pośrednią w oparciu o komponenty plonu w celu zwiększenia produktywności ziarna zaleca również Takeda i Frey (1976), Eagles i Frey (1974) oraz Saad i wsp. (1979). Dla innych gatunków zbóż i roślin pojawiały się liczne opracowania wyjaśniające współzależności pomiędzy cechami. Autorzy polskich badań (Binek, 1983; Kadłubiec i in., 1983; Jedyński 2001; Gołaszewski i in., 1993, 1996; Węgrzyn i in., 1996) przeprowadzali analizę skutkowo-przyczynową wykorzystując współczynniki korelacji fenotypowych. (Gołaszewski i in., 1993) na 80 rodach wyselekcjonowanych z populacji żyta ozimego Kortowskie wskazują, że na plon ziarna z kłosa miały silny wpływ bezpośredni masa 1000 ziaren, liczba ziaren z kłosa, długość kłosa i wysokość rośliny. W innej pracy (Węgrzyn i in., 1996) badania objęły 154 rody i populacje żyta z kolekcji. Analiza ścieżkowa wykazała, że na wysokość plonu u żyta z poletka wysoki bezpośredni wpływ miało przezimowanie, (co jest zaskoczeniem, biorąc pod uwagę na ogół wysoką mrozoodporność żyta), natomiast bezpośrednie wpływy pozostałych cech: wysokości, rdzy brunatnej, masy 1000 ziaren okazały się osłabiane przez pośrednie wpływy innych cech. Także np. dla oceny zależności plonu od innych cech dla grochopeluski (Gołaszewski i in., 1996) również wykazano dużą przydatność analizy przyczynowo-skutkowej do oceny wzajemnych powiązań pomiędzy cechami użytkowymi.

W literaturze zagranicznej (Dewey i in., 1959; Sidwell i in., 1976; Johnson i in., 1983) zaleca się, wykonywać analizę ścieżkową na podstawie genetycznych współczynników korelacji. W Polsce dla poznania wzajemnych zależności u żyta (Śmiałowski i in., 2002) wykorzystano do analizy ścieżkowej współczynniki korelacji genetycznych.

W niniejszej pracy celem jest poznanie bezpośrednich i pośrednich zależności między plonem a ważnymi cechami struktury plonu u owsa, oraz wynikającej stąd zależności przyczynowo-skutkowej ich wzajemnych powiązań w oparciu o genotypowe współczynniki korelacji. W przeprowadzonej analizie przyczynowo-skutkowej również ważnym celem będzie porównanie różnic pomiędzy wpływami bezpośrednimi i pośrednimi w 2 latach badań, co umożliwi sprawdzenie, jaki wpływ na obserwowane zależności mógł mieć odmienny zestaw badanych obiektów oraz środowisko.

MATERIAŁ I METODY

Do badań wykorzystane zostały wyniki 2 letnich doświadczeń hodowlanych (wstępnych), w których ocenie poddano 50 rodów w tym 2 odmian wzorcowych owsa (badano w 1999 i 2000 roku odmienny zestaw 25 obiektów z 2 wspólnymi odmianami wzorcowymi) w 4 miejscowościach: Choryni, Polanowicach, Strzelcach i Wielopolu.



Współczynniki ścieżkowe obliczono wg następującego równania

The path coefficients were obtained by the following equations

$$r_{17} = P_{17} + r_{12}P_{27} + r_{13}P_{37} + r_{14}P_{47} + r_{15}P_{57} + r_{16}P_{67}$$

$$r_{27} = P_{27} + r_{12}P_{17} + r_{23}P_{37} + r_{24}P_{47} + r_{25}P_{57} + r_{26}P_{67}$$

$$r_{37} = P_{37} + r_{13}P_{17} + r_{23}P_{27} + r_{34}P_{47} + r_{35}P_{57} + r_{36}P_{67}$$

$$r_{47} = P_{47} + r_{14}P_{17} + r_{24}P_{27} + r_{34}P_{37} + r_{45}P_{57} + r_{46}P_{67}$$

$$r_{57} = P_{57} + r_{15}P_{17} + r_{25}P_{27} + r_{35}P_{37} + r_{45}P_{47} + r_{56}P_{67}$$

$$r_{67} = P_{67} + r_{16}P_{17} + r_{26}P_{27} + r_{36}P_{37} + r_{46}P_{47} + r_{56}P_{57}$$

$$1 = P_{x7} - P_{17}^2 - P_{27}^2 - P_{37}^2 - P_{47}^2 - P_{57}^2 - P_{67}^2 + 2P_{17}r_{12}P_{27} + 2P_{17}r_{13}P_{37} + 2P_{17}r_{14}P_{47} + 2P_{17}r_{15}P_{57} + 2P_{17}r_{16}P_{67} + 2P_{27}r_{23}P_{37} + 2P_{27}r_{24}P_{47} + 2P_{27}r_{25}P_{57} + 2P_{27}r_{26}P_{67} + 2P_{37}r_{34}P_{47} + 2P_{37}r_{35}P_{57} + 2P_{37}r_{36}P_{67} + 2P_{47}r_{45}P_{57} + 2P_{47}r_{46}P_{67} + 2P_{57}r_{56}P_{67}$$

P_{x7} — efekt resztowy, P_{x7} — residual factors

Rys. 1. Diagram zależności i współzależności pomiędzy plonem a badanymi cechami owsa jarego

Fig. 1. Path diagram for 6 independent characters of spring oat and the dependent character grain yield

Doświadczenia zakładano na poletkach o pow. 10 m² w 4 powtórzeniach. W trakcie doświadczeń wykonano pomiary wysokości roślin, odnotowano datę wyrzucania wiech, wykonano obserwacje odporności na wyleganie i choroby (rdzę karłową). Zebrany plon z poletka w kg przeliczono na dt/ha i w tej postaci użyto do dalszych obliczeń. Po zbiorze wykonano ocenę masy 1000 ziaren i zawartości łuski Na podstawie uzyskanych wyników obliczono współczynniki korelacji fenotypowej i genetycznych pomiędzy 7 wybranymi

cechami. Wyniki opublikowano w pracy pt. „Zmienność, zależność i genetyczne uwarunkowanie ważnych cech u rodów i odmian owsa (*Avena sativa*)” (Śmiałowski i in., 2002). Korelacje fenotypowe i genotypowe obliczono za pomocą programu komputerowego FEGEKOR 3 (TP) opracowanego przez prof. Węgrzyna w Zakładzie Roślin Zbożowych IHAR Kraków. Dla przeprowadzenia analizy przyczynowo-skutkowej, w której plon owsa był cechą wynikową (zmienna objaśniana) a cechami zmiennymi (wyjaśniającymi): termin kłoszenia, wysokość roślin, odporność na wyleganie i rdzę, masę 1000 ziaren, zawartość łuski wykorzystano współczynniki korelacji genetycznych obliczone w 1999 i 2000 roku (Śmiałowski i in., 2002). Analizę ścieżkową wykonano według metody opisanej przez Deweya i Lu (1959) (rys. 1).

WYNIKI I DYSKUSJA

Na podstawie wykonanych obserwacji i pomiarów 7 cech stwierdzono, że wysokim zróżnicowaniem charakteryzowała się odporność na rdzę koronową (tab. 1). Niskim zróżnicowaniem odznaczały się plon, masa 1000 ziaren. Pozostałe cechy podlegały silnym wahaniom sezonowym, szczególnie odporność na wyleganie oraz termin wyrzucania wiech (tab. 1).

Tabela 1

Średnie wartości, zakresy zmienności, współczynniki zmienności dla cech u rodów owsa badanych w doświadczeniach polowych w 1999 i 2000 roku
The means, minimum-maximum ranges, coefficients of variability for traits of strains and varieties investigated in field's experiments in 1999 and 2000

Cechy Traits	Rok 1999			Rok 2000		
	wartości cech traits' values		współczynniki zmienności coefficient of variability cv (%)	wartości cech traits' values		współczynniki zmienności coefficient of variability cv (%)
	średnie mean	zakresy range min-max		średnie mean	zakresy range min-max	
Liczba dni od 1.V do kłoszenia No. of days from 1 May. to heading	42,3	39–46	16,1	36,6	34–38	7,4
Wysokość roślin Plant height (cm)						
Rdza koronowa Crown rust (scale 1–9)	6,5	3,6–8,8	45,1	5,9	3,8–8,1	43,2
Wyleganie Lodging (scale 1–9)	4,2	3,7–9,0	25,4	8,2	6,5–9,0	10,1
Masa 1000 ziaren 1000 grain mass (g)	31,6	27–35	8,9	38,8	35–44	11,5
% łuski Content of hull	25,4	22–28	11,1	24,7	21–28	6,5
Plon ziarna Yield of grain (dt/ha)	65,7	58–69	9,8	57,5	51–62	8,7

Większą zmiennością charakteryzowały się rody badane w 1999 roku i również w tym roku współczynniki korelacji genetycznych odznaczały się wyższymi wartościami w stosunku do 2000 roku (tab. 2, 3).

Porównanie współczynników korelacji genetycznych w obu latach pomiędzy cechami: plonem i wczesnością kłoszenia ($rG_{(1999)} = -0,73^{**}$, $rG_{(2000)} = -0,48^{**}$), plonem i odpornością na rdzę koronową ($rG_{(1999)} = 0,93^{**}$, $rG_{(2000)} = 0,64^{**}$) oraz plonem i zawartością łuski w ziarnie ($rG_{(1999)} = -0,93^{**}$, $rG_{(2000)} = -0,34$) wskazuje, że niezależnie od badanego zestawu fenotypów charakteryzują się one zbliżonymi wartościami i kierunkami działań (tab. 2 i 3). Odmienne spostrzeżenia odnotowano dla innych zależności. Okazało się, że korzystna dodatnia korelacja pomiędzy plonem a wyleganiem w 1999 roku ($rG_{(1999)} = 0,45^{*}$) uległa niekorzystnej zmianie w 2000 roku, w którym polepszenie plenności u badanych rodów owsa odbyło się kosztem zmniejszenia odporności na wyleganie, o czym świadczą ujemny współczynniki korelacji pomiędzy plonem a wyleganiem ($rG_{(2000)} = -0,75^{**}$) (tab. 2 i 3).

Szczegółowe wyjaśnienie wzajemnych powiązań polegające na analizie przyczynowo-skutkowej omawianych zależności zostało przedstawione w tabeli 4 i 5. Wykonana analiza wskazuje, że wysoka plenność ziarna u nowych rodów owsa w bezpośredni sposób zależy od wysokiej odporności na rdzę koronową owsa ($P_{(37,1999)} = 1,439^{**}$, $P_{(37,2000)} = 0,607^{**}$) (tab. 4 i 5). Rody odporne na tę chorobę są plenniejsze od pozostałych. Druga ważna cecha: wczesność kłoszenia jest silnie, ale ujemnie skorelowana z plonem ziarna u owsa (tab. 2 i 3).

Tabela 2

Genotypowe współczynniki korelacji pomiędzy badanymi cechami owsa w 1999 roku
The genotypic correlation coefficients between the investigated traits of oat in 1999

Cechy Traits	Kłoszenie (liczba dni od 1.V do kłoszenia) Heading	Wysokość Plant height (cm)	Rdza koronowa Crown rust	Wyleganie Lodging	Masa 1000 ziaren 1000-grain mass	Zawartość łuski Content of hull (%)	Plon ziarna Yield of grain (dt/ha)
Liczba dni od 1.V do kłoszenia No. of days from 1 May. to heading	1,00	0,11	0,33	-0,46*	-1,26**	1,06**	-0,73**
Wysokość roślin Plant height (cm)		1,00	-0,21	-0,92**	0,45*	-0,20	-0,34
Rdza koronowa Crown rust (scale 1–9)			1,00	-0,03	0,35	-0,45*	0,93**
Wyleganie Lodging (scale 1–9)				1,00	-0,70**	0,53**	0,45*
Masa 1000 ziaren 1000 grain mass (g)					1,00	-0,99**	0,97**
% łuski Content of hull						1,00	-0,93**
Plon ziarna Yield of grain (dt/ha)							1,00

Tabela 3

Genotypowe współczynniki korelacji pomiędzy badanymi cechami owsa w 2000 roku
The genotypic correlation coefficients between the investigated traits of oat in 2000

Cechy Traits	Kłoszenie (liczba dni od 1.V do kłoszenia) Heading	Wysokość Plant height (cm)	Rdza koronowa Crown rust	Wyleganie Lodging	Masa 1000 ziaren 1000-grain mass	Zawartość łuski Content of hull (%)	Plon ziarna Yield of grain (dt/ha)
Liczba dni od 1.V do kłoszenia No. of days from 1 May. to heading	1,00	0,07	-0,001	1,13**	-0,09	0,68**	-0,48**
Wysokość roślin Plant height (cm)		1,00	0,42*	0,47**	-0,09	-0,34	0,25
Rdza koronowa Crown rust (scale 1-9)			1,00	0,18	-0,10	-0,11	0,64**
Wyleganie Lodging (scale 1-9)				1,00	-0,14	-0,34	-0,75**
Masa 1000 ziaren 1000-grain mass (g)					1,00	0,23	0,21
% łuski Content of hull						1,00	-0,34
Plon ziarna Yield of grain (dt/ha)							1,00

Zatem w zestawie badanych rodów przeważały również korzystne pełne formy owsa o krótszym okresie pomiędzy siewem a kłoszeniem. Analiza przyczynowo-skutkowa współzależności plonu od kłoszenia wskazuje na wysoki bezpośredni wpływ wczesności kłoszenia na plon ($P_{17,1999} = -0,667^{**}$, $P_{17,2000} = -0,819^{**}$), nieosłabiony efektami pośrednimi innych cech (tab. 4 i 5). Zatem poprawienie tej cechy odbyło się poprzez silne przełamanie niekorzystnych korelacji genetycznych w wytworzonym materiale. W tym przypadku nie zastosowano żmudnej metody selekcji pośredniej poprzez poprawianie jednej cechy za pomocą innych.

Bardzo ważną cechą u owsa, na którą w ostatnich latach położono szczególny nacisk w hodowli i uprawie jest niska zawartość łuski w ziarnie. Pomiedzy zawartością łuski a plonem ziarna stwierdzono ujemną, ale korzystną korelację genetyczną w obu latach badań ($r_{G(1999)} = -0,93^{**}$ i $r_{G(2000)} = -0,300$), co oznacza, że rody o wyższej plenności zawierały mniej łuski. Tej korzystnej korelacji genetycznej jednak nie potwierdza wykonana analiza przyczynowo-skutkowa. Obliczone wartości efektów bezpośrednich ($P_{67,1999} = 0,964^{**}$, $P_{67,2000} = 0,300$) okazały się dodatnie, a zatem z punktu widzenia hodowli niekorzystne. Uzyskany wynik tłumaczy obliczona analiza efektów pośrednich pomiędzy cechami. Wskazuje ona, że wymienione wcześniej korzystne współczynniki korelacji pomiędzy plonem a procentem łuski wynikają z wysokiej wartości efektów pośrednich pomiędzy procentem łuski a odpornością na rdzę koronową ($P_{1999} = -0,648$) (tab. 4) oraz % łuski a wczesnością kłoszenia ($P_{1999} = -0,707$ i $P_{2000} = -0,516$) (tab. 4 i 5). Omawiane efekty pośrednie silnie maskowały niekorzystne efekty bezpośrednie pomiędzy % łuski a plonem.

Tabela 4

Współczynniki korelacji, efekty bezpośredniego i pośredniego wpływu 6 cech na plon owsa w 1999 roku
Correlation coefficients, direct and indirect effects of the six traits on grain yield of oats in 1999

Cechy Traits	Współczynniki korelacji genetycznej pomiędzy plonem a cechami Coefficient of correlation	Efekty bezpośrednie pomiędzy plonem a cechami Direct effects between yield and the traits	Efekty pośrednie The indirect effects					
			kłoszenie (liczba dni od 1.V do kłoszenia) heading	wysokość plant height (cm)	rdza koronowa crown rust	wyleganie lodging	masa 1000 ziaren 1000-grain mass	zawartość łuski content of hull (%)
Kłoszenie Heading	-0,73**	-0,667**	—	0,078	0,475	-0,447	-1,191	1,022
Wysokość roślin (cm) Plant height	-0,34	0,708**	-0,073	—	-0,302	-0,894	0,415	-0,198
Rdza koronowa Crown rust (scale 1-9)	0,93**	1,439**	-0,220	-0,149	—	-0,029	0,323	-0,434
Wyleganie Lodging (scale 1-9)	0,45*	0,972**	0,307	-0,651	-0,043	—	-0,646	0,511
Masa 1000 ziaren 1000-grain mass (g)	0,97**	0,923**	0,860	0,319	0,504	-0,680	—	-0,954
% łuski Content of hull	-0,93**	0,964**	-0,707	-0,142	-0,648	0,515	-0,914	—

P_{x7} = 1,47

Zjawisko to wpłynęło na obniżenie zawartości łuski i zwiększenie plonu, czego odzwierciedleniem były ujemne, ale korzystne współczynniki korelacji genetycznej pomiędzy plonem ziarna a zawartością łuski. Należy przypuszczać, że wysoki plon i zawartość łuski u owsa oplewionego są silnie sprzężone genetycznie, których przełamanie jest bardzo trudne bez pogorszenia innych cech. Zatem w selekcji materiałów hodowlanych owsa prowadzonej w celu obniżenia procentu łuski w ziarnie należy umiejętnie wykorzystać związki pośrednie pomiędzy badanymi cechami, tj. odpornością na rdzę, wczesnością wyrzucania wiech, a także masą 1000 ziaren i plonem. Znajomość siły wzajemnych powiązań, czyli efektów bezpośrednich i pośrednich pozwoli ograniczyć zawartość łuski w ziarnie bez obniżania plenności ziarna. Na możliwości skutecznej selekcji pośredniej za pomocą innych cech u innych gatunków zbóż, a także roślin wskazują wcześniejsze badania Węgrzyna (1983), Kadłubca i wsp. (1989), Gołaszewskiego i wsp. (1993; 1996), Węgrzyna i wsp. (1996), Jedyńskiego, (2001), i Śmiałowskiego (2002). Wykonane badania współzależności cech u owsa wskazują na możliwości wykorzystania wyników analizy przyczynowo skutkowej do selekcji nowych materiałów hodowlanych w celu poprawy ich walorów użytkowych.

Tabela 5

Współczynniki korelacji i efekty bezpośredniego oraz pośredniego wpływu 6 cech na plon owsa w 2000 roku**Correlation coefficients, direct and indirect effects of the six traits on grain yield of oats in 2000**

Cechy Traits	Współczynniki korelacji genetycznej pomiędzy cechami a plonem Coefficient of correlation	Efekty bezpośrednie pomiędzy plonem a cechami Direct effects between yield and the traits	Efekty pośrednie The indirect effects					
			kłoszenie (liczba dni od 1.V do kłoszenia) heading	wysokość (cm) plant height	rdza koronowa crown rust	wyleganie lodging	masa 1000 ziaren 1000-grain mass	zawartość łuski content of hull (%)
Kłoszenie Heading	-0,48**	-0,819**	—	0,007	-0,0006	0,154	-0,009	0,189
Wysokość roślin Plant height (cm)	0,25	0,100	-0,057	—	0,255	0,064	-0,009	-0,102
Rdza koronowa Crown rust (scale 1-9)	0,64**	0,607**	0,0008	0,042	—	0,024	-0,001	-0,033
Wyleganie Lodging (scale 1-9)	-0,75**	0,136	-0,925	0,047	0,109	—	-0,014	-0,102
Masa 1000 ziaren 1000-grain mass (g)	0,21	0,101	0,074	-0,009	-0,061	-0,019	—	0,069
% łuski Content of hull	-0,34	0,300	-0,516	-0,034	-0,067	-0,046	0,023	—

 $P_{x7} = 0,348$ **WNIOSKI**

1. Przeprowadzona analiza przyczynowo-skutkowa w oparciu o dwuletnie wyniki doświadczeń wykazała, że plenność nowych odmian owsa jarego w doświadczeniach wstępnych zależy silnie i bezpośrednio od odporności na rdzę koronową owsa. Ponadto stwierdzono korzystny bezpośredni wpływ wczesnego wyrzucania wiech na plenność owsa, co może świadczyć o przełamaniu niekorzystnych korelacji pomiędzy tymi cechami.
2. Korzystne pośrednie efekty pomiędzy kłoszeniem a rdzą koronową silnie maskują niekorzystny bezpośredni wpływ niskiej zawartości łuski na plon ziarna. Odnotowane spostrzeżenie dowodzi możliwości poprawienia pośrednio, w trakcie selekcji materiałów hodowlanych, tej cechy przy poprawianiu wartości innych cech.
3. Analiza przyczynowo skutkowa okazała się przydatna dla poznania zależności i współzależności cech użytkowych u form hodowlanych owsa jarego.

LITERATURA

- Binek A. 1983. Korelacja i analiza współczynników ścieżek pomiędzy cechami warunkującymi strukturę plonu nasion esparcety siewnej. *Post. Nauk. Rol.* 290: 112 — 124.
- Dewey D. R., Lu K. H. 1959. A correlation and path-coefficient analysis of components of created wheatgrass seed production. *Agron. J.*: 515 — 517.
- Eagles H. A., Frey K. J. 1974. Expected and actual gains in economic value of oat lines from five selection methods. *Crop Sci.* 14: 861 — 664.
- Gołaszewski J., Koczowska I., Korona A., Idżkowska M. 1993. Metoda współczynników ścieżek w ocenie współzależności wybranych cech żyta ozimego i pszenżyta jarego. *Zesz. Nauk. AR we Wrocławiu* 223: 157 — 163.
- Gołaszewski J., Puzio-Idżkowska M. 1996. Analiza ścieżkowa w ocenie współzależności niektórych komponentów plonu nasion grochopeluszki. *Biul. IHAR* 200: 314 — 317.
- Kadłubiec W., Jedyński S., Lonc W., Strugała J. 1989. Analiza ścieżek Wrighta komponentów plonu linii i mieszańców F₁ pszenicy ozimej. *PNR* 382: 127 — 132.
- Jedyński S. 2001. Odziedziczalność i analiza ścieżkowa komponentów plonu pszenicy jarej. *Biul. IHAR* 218/219: 203 — 210.
- Johnson S. K., Helsel D. B., Frey K. J. 1983. Direct and indirect selection for grain yield in oat (*Avena sativa* L.). *Euphytica* 32/ 3: 407 — 413.
- Takeda K., K. J. Frey. 1976. Contribution of vegetative growth rate and harvest index to grain yield of progenies from *Avena sativa* × *A. sterilis* crosses. *Crop Sci.* 16: 817 — 821.
- Saad El Din, Mohamed Sami. 1979. Selection indexes for assigning economic values to oat lines. Ph.D. Dissertation. Iowa State Univ., Ames, Iowa. Diss. Abstr. 169.
- Sawicki J. 1984. Struktura plonu u odmian i rodów owsa raz udział jej komponentów w kształtowaniu plonu ziarna. *Ac. Agr. et Silvestre Vol. XXIII*: 59 — 77.
- Sidwell R. J., Smith E. L., McNew R. W. 1976. Inheritance and interrelationships of grain yield and selected yield-related traits in a hard red winter wheat cross. *Crop Sci.* 16: 650 — 654.
- Śmiałowski T., Węgrzyn S. 2000. Zmienność i zależność oraz genetyczne uwarunkowania wybranych cech u odmian i rodów żyta ozimego. *Biul. IHAR* 216 (1): 61 — 68.
- Śmiałowski T., Węgrzyn S. 2002. „Zmienność, zależność i genetyczne uwarunkowanie ważnych cech u rodów i odmian owsa. *Biul. IHAR* 223/224: 186 — 194.
- Śmiałowski T., Węgrzyn S. 2003. Zastosowanie analizy współczynników ścieżek do badań genotypowych zależności i współzależności wybranych cech plonotwórczych żyta ozimego (*Secale cereale*). *Biul. IHAR* 228: 141 — 149.
- Węgrzyn S., Śmiałowski T., Grochowski L. 1996. Zmienność i współzależność cech oraz ocena zjawisk genetycznych w kolekcji roboczej żyta ozimego 1977–1992. *Biul. IHAR* 200: 69 — 84.